

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00127

野生和养殖鲮消化酶活性的比较研究

于娜^{1,2}, 李加儿¹, 区又君¹, 范春燕^{1,2}

1. 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 广东 广州 510300;

2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 对野生鲮(*Mugil cephalus*)和养殖鲮的消化道指数及淀粉酶和蛋白酶活性分布进行了比较研究, 并探讨了不同温度和 pH 对离体状态下消化道淀粉酶和蛋白酶的影响。结果表明, 野生鲮和养殖鲮的比内脏重、比肝重、比胃重、比肠长分别为 0.043 ± 0.001 和 0.0480 ± 0.004 , 0.009 ± 0.001 和 0.007 ± 0.000 , 0.008 ± 0.002 和 0.007 ± 0.000 , 2.886 ± 0.301 和 3.158 ± 0.141 。野生鲮的蛋白酶和淀粉酶活力在各消化器官中的分布与养殖鲮间存在差异。野生鲮和养殖鲮比较, 野生鲮各消化器官中淀粉酶活力均极显著高于养殖鲮 ($P < 0.01$); 蛋白酶活力在肝胰脏和胃中差异不显著 ($P > 0.05$), 在中肠差异显著 ($P < 0.05$), 在前肠和后肠差异极显著 ($P < 0.01$)。在肝胰脏、胃、前肠、中肠、后肠和幽门盲囊 6 部位, 野生鲮淀粉酶的最适温度分别是 40°C 、 45°C 、 45°C 、 45°C 、 40°C 、 45°C ; 养殖鲮淀粉酶的最适温度分别是 40°C 、 40°C 、 40°C 、 45°C 、 40°C 、 40°C 。野生鲮淀粉酶最适 pH 在肝胰脏为 6.2, 在其余各部分均是 7.2; 养殖鲮淀粉酶最适 pH 在胃和前肠为 2.2 和 8.0, 在其余各部分均为 7.2。野生鲮蛋白酶最适温度在肝胰脏、胃、前肠和后肠均为 45°C , 在中肠为 50°C ; 养殖鲮蛋白酶最适温度在肝胰脏、胃和中肠为 40°C , 前肠和后肠为 45°C 。野生和养殖鲮蛋白酶的最适 pH 胃部为 3.2, 其余各部分的最适 pH 均是 7.2。[中国水产科学, 2011, 18(1): 127–135]

关键词: 鲮; 消化道指数; 消化酶分布; 酶活; 温度; pH

中图分类号: S917

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)01-0127-09

鲮(*Mugil cephalus*)属鲮形目, 鲮科, 鲮属, 俗称“乌头”、“乌鱼”、“乌鲮”等, 是一种世界性养殖的广盐性、杂食性鱼类。因其个体大, 生长快, 食物链级次低, 许多国家都将鲮列为海淡水的重要养殖种类^[1], 并有不少鲮的研究报道^[2-7]。

鱼类消化酶的研究是鱼类营养与饲料科学的主要研究内容之一。吴婷婷^[8]研究报道草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、鲤(*Cyprinus carpio*)和鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)等消化酶活性及其在肠道内的分布; 黄耀桐^[9]研究报道了草鱼肠道、肝胰脏蛋白酶活性; 倪寿文等^[10-11]研究了草鱼、鲤、鳙(*Aristichthys nobilis*)等鱼类消化道蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶的活性及其最适 pH 值; Vys 等^[12]研究了鲶(*Ciarias gariepinus*)不同组织器官

内消化酶活性及其最适 pH 值等。但鲮消化酶活性及其受温度和 pH 值等条件影响的变化规律报道较少。本研究比较了不同生活环境下鲮消化酶的分布及温度、pH 值对其消化酶活力的影响, 探讨了消化酶与最适温度、pH 值的关系, 旨在为鲮消化生理研究、养殖及配合饲料生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用野生鲮捕自深圳大鹏湾海区, 体质量 $450.0 \sim 800.0$ g, 共 10 尾; 养殖鲮采自广州番禺区养殖池, 体质量 $580.0 \sim 1\ 600.0$ g, 共 8 尾, 鱼体健康。用塑料袋包装充氧运回实验室水槽中暂养。

收稿日期: 2010-01-28; 修订日期: 2010-04-21.

基金项目: 广东省科技计划项目(2007B020708005).

作者简介: 于娜(1986-), 硕士, 从事水产养殖基础生物学方面的研究. E-mail: nanayuweifang@163.com

通讯作者: 李加儿, 研究员. 从事水产养殖基础生物学和繁殖技术研究. E-mail: lje001@126.com

1.2 取材及消化道指数测定

实验鱼在实验室暂养 3 h 后, 用解剖刀切断其脊髓处死, 测量体长、体质量。取背部鳞片, 鉴定年龄。置于冰盘内迅速打开腹腔取出消化道, 剔除肠系膜, 按肝胰脏、胃、幽门盲囊和肠组织分别测长、称重, 剪开消化道用精密 pH 试纸测定其肠道 pH 值。

参照尾崎久雄^[13]的方法计算鲮的比肠长(肠道长度与体长之比)、比肝脏重、比胃重、比内脏重(分别以肝脏质量、胃质量、内脏质量与体质量之比表示)等消化道指数。

1.3 粗酶液制备

提取粗酶液^[9]: 将肠道游离, 按等分的方法^[14]分为前肠、中肠和后肠 3 部分, 去除内容物, 用去离子水冲洗, 滤纸吸干后迅速称重。将各部分剪碎后移入玻璃匀浆器内, 按 1:9 的比例加入预冷的去离子水, 在 0~4℃ 下匀浆, 转入离心管中离心 30 min(0~4℃, 6 000 r/min), 取其上清液(4℃ 下保存), 用作酶活测定, 在 12 h 内完成。

1.4 酶活力测定

蛋白酶活力采用福林酚法^[15]测定, 在 40℃, 以每分钟生成 1 μg 酪氨酸的酶量作为 1 个活力单位; 淀粉酶活力采用淀粉-碘比色法^[16]测定, 在 (40±0.1)℃, 30 min 水解 10 mg 淀粉作为 1 个活力单位。在 (40±0.1)℃ 的条件下, pH 值设置 2.2、3.2、4.2、5.2、6.2、7.2、8.0、9.0、10.0 共 9 个梯度。在 pH 值 7.5 条件下, 温度设置 4℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃、45℃、50℃ 和 55℃ 11 个温度梯度, 用恒温水浴控温。

1.5 数据处理

用单因素可重复方差分析不同温度、不同 pH 下消化酶活性的差异性。若有差异再用多重比较

的方法, 分析消化酶的最适温度及最适 pH。差异显著度为 0.05。

2 结果与分析

2.1 鲮的消化道指数

经鳞片鉴定, 10 尾野生鲮均为 2 龄, 7 尾养殖鲮均为 2 龄, 1 尾养殖鲮为 3 龄(未作统计比较)。鲮肠道弯曲折叠, 肠长为体长的 3 倍左右(表 1)。野生鲮和养殖鲮的比内脏重、比肝重、比胃重和必肠长的结果分别为 0.043±0.001 和 0.048±0.004, 0.009±0.001 和 0.007±0.00, 0.008±0.002 和 0.007±0.000, 2.886±0.301 和 3.158±0.141, 野生鲮的比肝重大于养殖鲮, 但差异不显著($P<0.05$), 而比肠长显著小于养殖鲮($P<0.05$)。对消化器官各部位的 pH 测定结果显示, 野生鲮胃部的 pH 为 3.6±0.4, 前肠、中肠和后肠为 6.7±0.2。养殖鲮胃部的 pH 为 3.6±0.4, 前肠、中肠和后肠为 6.4±0.3。

2.2 生理酸碱条件下鲮的消化酶活力

因测得的 3 龄鱼消化酶活力和 2 龄鱼消化酶差异不显著, 所以最后把 1 尾 3 龄鱼单独作为 1 个平行(以下相同)。在生理酸碱条件下(胃 pH 值为 2.2, 肠、肝胰脏 pH 值为 7.5), 野生鲮消化道蛋白酶活力由高到低依次为后肠、前肠、中肠、胃、肝胰脏, 淀粉酶活力由高到低依次为后肠、幽门盲囊、中肠、前肠、肝胰脏、胃。养殖鲮消化道蛋白酶活力由高到低依次为前肠、中肠、后肠、肝胰脏、胃, 淀粉酶活力由高到低依次为幽门盲囊、前肠、中肠、后肠、胃、肝胰脏。总体上, 野生鲮的消化酶活力要明显高于养殖鲮, 其中淀粉酶活力差异极显著($P<0.01$), 前肠、中肠和后肠的蛋白酶活力差异极显著($P<0.01$), 但肝胰脏、胃的蛋白酶活力差异不显著($P>0.05$)(图 1)。

表 1 鲮的消化道指数

Tab. 1 Digestive tube indices of grey mullet *Mugil cephalus*

项目 item	野生鲮(n=10) wild grey mullet		养殖鲮(n=7) cultivated grey mullet	
	范围 range	$\bar{x} \pm SD$	范围 range	$\bar{x} \pm SD$
质量/g body weight	450.0–800.0	625.0±80.00	582.0–925.0	719.0±98.65
体长/cm body length	28.5–34.5	32.25±1.500	31.0–39.4	35.1±2.342
比内脏重 viscera weight/body weight	0.040–0.046	0.043±0.001	0.041–0.052	0.048±0.004
比肝重 liver weight/body weight	0.009–0.010	0.009±0.001	0.007–0.008	0.007±0.000
比胃重 stomach weight/body weight	0.010–0.013	0.008±0.002	0.006–0.007	0.007±0.000
比肠长 intestine length/body length	2.281–3.478	2.886±0.301	2.903–3.464	3.158±0.141

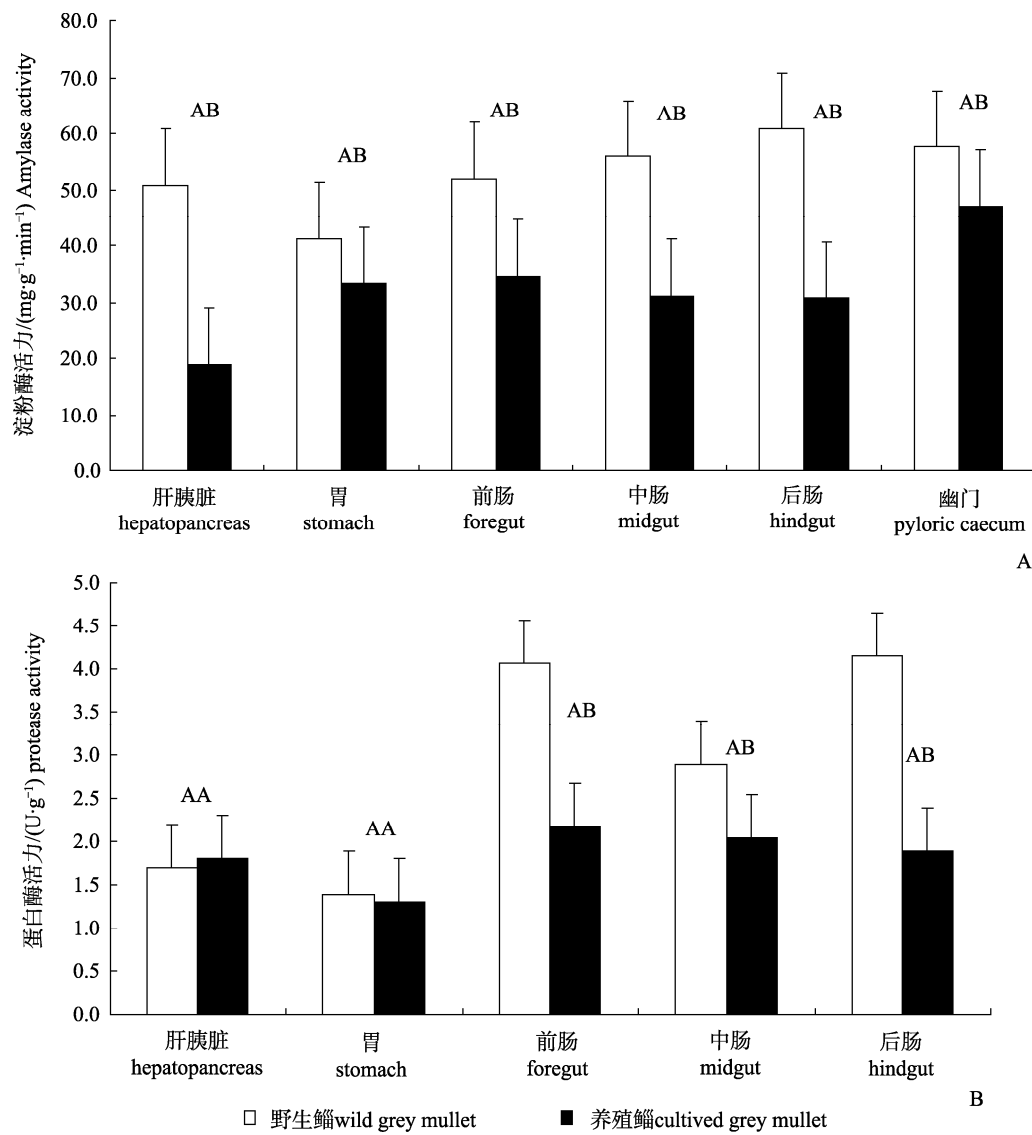


图1 生理pH条件下野生鲮和养殖鲮各消化器官的淀粉酶(A)和蛋白酶(B)活力比较
柱图上方的不同字母表示野生鲮和养殖鲮的消化酶活力存在显著差异(P<0.05).

Fig. 1 Amylase(A) and protease(B) activities in several digestive organs of wild and cultivated grey mullet *Mugil cephalus* under physiological pH condition
Different letters on the columns mean significant difference in enzyme activity between wild and cultivated *M. cephalus* ($P<0.05$).

2.3 温度对鲮 2 种消化酶活力的影响

2.3.1 温度对鲮蛋白酶活力的影响 在 5~55℃ 实验温度范围内, 各消化器官的蛋白酶活力均呈现出先上升后下降的趋势, 且野生鲮比养殖鲮的蛋白酶活力变化更明显。除肝胰脏和胃, 在其他组织中, 野生鲮的蛋白酶活力高于养殖鲮, 且差异极显著 ($P<0.01$)(表 2)。野生鲮蛋白酶活力达到最高时, 肝胰脏、胃、前肠和后肠对应的实验温度均为 45℃, 中肠为 50℃。养殖鲮的蛋白酶活力最高时, 肝胰脏、胃和中肠为 40℃, 前肠和后肠温度为 45℃。

2.3.2 温度对鲮淀粉酶活力的影响 在 5~55℃ 实验条件下, 淀粉酶活力同样呈先升高后降低的趋势, 野生鲮不同消化部位中的淀粉酶活力要明显高于养殖鲮, 且差异极显著 ($P<0.01$)。分别在 40℃、45℃、45℃、45℃、40℃、45℃ 温度下, 野生鲮的肝胰脏、胃、前肠、中肠、后肠、幽门盲囊的淀粉酶活力达到最高。分别在 40℃、40℃、40℃、45℃、40℃、40℃ 温度下, 养殖鲮的肝胰脏、胃、前肠、中肠、后肠、幽门盲囊的淀粉酶活力达到最高(表 3)。

表2 温度对野生鲮和养殖鲮蛋白酶活力的影响
Tab. 2 Effects of temperature on protease activity of wild and cultivated grey mullet *Mugil cephalus*

$\bar{x} \pm \text{SD}; \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$

温度/℃ temperature		组织 tissue				
		肝胰脏 hepatopancreas	胃 stomach	前肠 foregut	中肠 midgut	后肠 hindgut
5	A	0.88 ±0.06	0.70 ±0.02	2.52 ±0.05*	1.77 ±0.21*	1.94 ±0.17*
	B	0.91 ±0.07	0.75 ±0.06	1.17 ±0.12	1.26 ±0.01	1.09 ±0.03
10	A	0.94 ±0.04	0.95 ±0.04	2.60 ±0.03	0.82 ±0.09	2.60 ±0.06*
	B	0.95 ±0.15	0.82 ±0.03	1.47 ±0.01*	1.31 ±0.03*	1.28 ±0.05
15	A	0.92 ±0.03	0.91 ±0.00	2.59 ±0.06	0.84 ±0.01	2.59 ±0.20*
	B	0.91 ±0.06	0.84 ±0.01	1.55 ±0.04*	1.44 ±0.03*	1.34 ±0.02
20	A	0.97 ±0.05	0.79 ±0.05	2.95 ±0.04*	1.90 ±0.05*	3.23 ±0.14*
	B	0.96 ±0.04	0.87 ±0.01	1.55 ±0.07	1.43 ±0.01	1.31 ±0.06
25	A	1.01 ±0.05	0.84 ±0.01	3.35 ±0.06*	1.90 ±0.06*	2.34 ±0.10*
	B	0.98 ±0.05	0.85 ±0.01	1.58 ±0.01	1.51 ±0.02	1.40 ±0.13
30	A	1.00 ±0.02	0.86 ±0.03	3.02 ±0.08*	2.62 ±0.08*	2.14 ±0.05*
	B	1.01 ±0.01	0.94 ±0.04	1.61 ±0.13	1.61 ±0.05	1.48 ±0.04
35	A	1.01 ±0.02	0.91 ±0.01	3.79 ±0.02*	2.88 ±0.28*	2.95 ±0.15*
	B	1.13 ±0.08	0.95 ±0.04	2.12 ±0.16	1.64 ±0.07	1.64 ±0.05
40	A	1.69 ±0.16	1.39 ±0.17	4.06 ±0.02*	2.88 ±0.28*	4.16 ±0.15*
	B	1.81 ±0.34	1.31 ±0.09	2.18 ±0.11	2.05 ±0.26	1.89 ±0.08
45	A	1.73 ±0.07	1.56 ±0.05*	4.71 ±0.21*	5.11 ±0.52*	5.68 ±0.15*
	B	1.50 ±0.23	1.06 ±0.02	2.19 ±0.32	2.18 ±0.19	2.02 ±0.18
50	A	1.34 ±0.04	1.22 ±0.07	5.25 ±0.30*	4.89 ±0.24*	5.00 ±0.15*
	B	1.46 ±0.18	1.11 ±0.03	1.80 ±0.04	1.92 ±0.12	1.89 ±0.08
55	A	1.20 ±0.02	0.97 ±0.14	3.07 ±0.05*	3.77 ±0.30*	3.60 ±0.24*
	B	1.06 ±0.05	0.85 ±0.04	1.59 ±0.04	1.38 ±0.03	1.34 ±0.03

注: A. 野生鲮(n=10); B. 养殖鲮(n=8). 表中*表示在相同测试条件下野生鲮和养殖鲮各部位的消化酶活力差异极显著($P<0.01$).

Note: A means wild grey mullet(n=10). B means cultivated grey mullet(n=10). *means extremely significant difference in enzyme activity of different digestive part between wild and cultivated *M.cephalus* under the same experiment condition($P<0.01$).

表3 温度对野生鲮和养殖鲮淀粉酶活力的影响
Tab. 3 Effects of temperature on amylase activity of wild and cultivated grey mullet *Mugil cephalus*

$\bar{x} \pm \text{SD}; \text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$

温度/℃ temperature		组织 tissue					
		肝胰脏 hepatopancreas	胃 stomach	前肠 foregut	中肠 midgut	后肠 hindgut	幽门盲囊 pyloric caecum
5	A	17.12±2.34*	22.49 ±0.41*	45.99 ±2.59*	45.99 ±0.60*	39.78 ±14.0*	35.32±0.20*
	B	2.38 ±0.17	20.19 ±1.05	23.97 ±1.08	24.90 ±1.14	23.20 ±0.00	31.97±0.09
10	A	40.29 ±0.68*	28.56 ±1.58*	34.83± 0.26*	46.00 ±0.63*	50.35± 0.00*	34.52±1.77*
	B	6.70 ±0.92	21.56 ±0.68	27.20 ±0.24	25.95 ±0.60	23.95 ±0.41	39.55±6.53
15	A	41.52 ±0.20*	30.73 ±0.09*	41.96± 1.44*	48.08 ±0.50*	52.11 ±0.00*	39.30±0.46
	B	6.91 ±0.60	22.92 ±0.05	28.92 ±0.06	28.67 ±0.17	25.29±0.31	42.27±0.43
20	A	40.07 ±0.23*	30.75 ±0.09*	42.70 ±1.47*	51.86 ±0.26*	56.21 ±0.16*	45.80±0.77
	B	10.23 ±1.02	24.55 ±0.05	29.31 ±0.36	28.56 ±0.09	26.90 ±0.16	42.43±0.15
25	A	47.14 ±0.45*	31.92 ±2.30*	45.64 ±0.10*	52.57±0.68*	56.27 ±0.16*	47.37±0.42
	B	15.80 ±0.54	26.93 ±0.00	29.48 ±0.70	29.32± 0.71	27.13 ±0.09	43.39±1.16
30	A	47.95 ±0.96*	37.30 ±3.80*	50.94 ±1.64*	51.72 ±0.51*	57.61± 0.75*	52.40±0.17*
	B	15.96 ±0.14	25.33 ±0.25	29.56 ±1.25	28.51 ±0.18	28.25 ±0.39	44.71±0.60
35	A	49.61 ±0.28*	36.16 ±0.76*	51.39 ±0.25*	53.20± 0.64*	58.92 ±0.15*	53.11±0.64*
	B	16.95 ±0.14	28.89 ±0.00	31.86 ±2.64	29.59 ±0.35	29.02± 0.09	46.94±0.09
40	A	50.87 ±0.46*	41.28 ±0.13*	51.95 ±1.17*	55.82 ±0.39*	60.77 ±0.36*	57.67±0.78*
	B	18.94 ±0.78	33.29 ±0.17	34.54 ±0.31	31.12± 0.08	30.70 ±1.36	47.10±0.14
45	A	47.58 ±2.70*	44.16 ±0.13*	54.26 ±0.57*	56.35 ±0.26*	60.16 ±0.42*	59.01±0.34*
	B	15.84 ±0.89	29.59 ±0.37	33.49± 0.54	34.40 ±1.30	29.97 ±0.17	44.20±0.34
50	A	45.70 ±0.91*	41.36 ±0.33*	51.69 ±0.14*	55.84± 0.33*	57.92± 0.16*	57.37±1.02*
	B	15.38 ±1.88	27.35 ±1.16	31.64 ±0.66	30.24 ±0.47	29.51 ±0.40	43.79±0.64
55	A	44.49 ±0.00*	37.65 ±0.55*	45.46 ±0.39*	54.61 ±0.66*	57.55± 0.52*	49.38±0.37*
	B	16.05 ±1.08	25.38 ±1.33	27.41 ±0.67	31.07± 0.78	25.16 ±0.14	39.02±0.00

注: A. 野生鲮(n=10); B. 养殖鲮(n=8). 表中*表示在相同测试条件下野生鲮和养殖鲮各部位的消化酶活力差异极显著($P<0.01$).

Note: A means wild grey mullet(n=10). B means cultivated grey mullet(n=10). *means extremely significant difference in enzyme activity of different digestive part between wild and cultivated *M.cephalus* under the same experiment condition($P<0.01$).

2.4 pH 对鲮 2 种消化酶活力的影响

2.4.1 pH 对鲮蛋白酶活力的影响 在实验设定的 pH 范围内(2.2~10.0), 胃部蛋白酶的最适 pH 为 3.2(实测鲮胃部 pH 值为 3.6±0.4), 活力随着 pH 值的升高而降低。其余各部位的最适 pH 均是 7.2。除胃部蛋白酶活力养殖鲮极显著高于野生鲮 ($P<0.01$)外, 其余各消化器官的蛋白酶活力都是野生鲮极显著高于养殖鲮(表 4)。

2.4.2 pH 对鲮淀粉酶活力的影响 在 pH 2.2~10.0 的范围内, 除养殖鲮的肝胰脏淀粉酶活力高于野生鲮外, 其余均是野生鲮的淀粉酶活力高于养殖鲮, 且差异极显著($P<0.01$)。野生鲮的肝胰脏、胃部、前肠、中肠和后肠淀粉酶的最适 pH 分别为 6.2、7.2、7.2、7.2 和 7.2, 养殖鲮的肝胰脏、胃部、前肠、中肠和后肠淀粉酶的最适 pH 分别为 7.2、2.2、8.0、7.2 和 7.2。胃部淀粉酶活性在 pH2.2 出现 1 个高峰后, 在 7.2~8.0 之间又出现 1 个高峰, 而肠道、肝胰脏淀粉酶最适 pH 在近中性区域(表 5)。

3 讨论

3.1 鲮消化道指数特征

3 龄鱼的消化道指数与 2 龄鲮相比较分析, 有变小的趋势, 因鱼体在达到一定规格后体质量、体长的变化比消化道的变化更明显, 故在计算消化道指数时未把 3 龄鱼计算在内。野生鲮和养殖鲮的内脏团均较小, 平均比内脏重为 4.3%和 4.8%, 大于肉食性大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)的 3.8%^[17], 但小于野生和养殖矛尾复虾虎鱼(*Synechogobius hasta*)的 10.96%和 8.14%^[18]; 野生和养殖鲮的平均比肝重为 0.9%和 0.7%, 符合一般硬骨鱼类比肝重在 3%以下的规律。与野生和养殖虾虎鱼的 5.23%和 1.83%^[18] 结果一致, 都是野生鱼的比肝重大于养殖鱼, 但野生鲮的比肝重与养殖鲮差异不显著($P<0.05$)。野生和养殖鲮肠道非常弯曲折叠, 其比肠长平均可达 2.886 和 3.232, 远大于大银鱼的 0.69^[17], 也大于杂食性偏肉食性的黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)的 1.11^[19], 但与杂食性偏植食性的长鳍篮子鱼(*Siganus canaliculatus*)^[20]的

表4 pH对野生鲮和养殖鲮蛋白酶活力的影响
Tab. 4 Effects of pH on protease activity of wild and cultured grey mullet *Mugil cephalus*

$\bar{x} \pm SD$; U·g⁻¹

pH	组织 tissue					
		肝胰脏 hepatopancreas	胃 stomach	前肠 foregut	中肠 midgut	后肠 hindgut
2.2	A	1.42±0.01*	0.96±0.01*	3.47±0.09*	3.55±0.04*	2.77±0.07*
	B	1.19±0.03	1.15±0.02	1.43±0.04	1.29±0.01	1.19±0.07
3.2	A	1.50±0.04*	0.97±0.00*	3.51±0.09*	3.57±0.03*	2.71±0.28*
	B	1.22±0.04	1.18±0.02	1.48±0.01	1.36±0.02	1.24±0.02
4.2	A	1.48±0.02	0.93±0.02*	3.81±0.10*	3.63±0.08*	2.94±0.00*
	B	1.48±0.00	1.13±0.02	1.51±0.03	1.35±0.06	1.33±0.01
5.2	A	1.47±0.01*	0.97±0.04*	3.91±0.05*	3.66±0.03*	3.05±0.00*
	B	1.60±0.01	1.06±0.08	1.56±0.02	1.33±0.03	1.27±0.02
6.2	A	1.81±0.06*	0.84±0.01*	3.98±0.07*	3.73±0.00*	3.05±0.02*
	B	1.68±0.03	1.03±0.03	1.63±0.01	1.53±0.07	1.27±0.00
7.2	A	2.05±0.03*	0.88±0.02*	4.08±0.05*	4.23±0.02*	4.85±0.34*
	B	1.77±0.04	1.05±0.02	2.36±0.32	1.61±0.26	1.54±0.03
8.0	A	1.91±0.05*	0.88±0.02*	3.85±0.10*	3.85±0.05*	3.10±0.04*
	B	1.60±0.01	1.02±0.03	1.89±0.01	1.65±0.05	1.45±0.03
9.0	A	1.42±0.02	0.90±0.04*	3.92±0.08*	3.98±0.01*	3.18±0.02*
	B	1.41±0.01	0.98±0.03	1.94±0.15	1.72±0.24	1.28±0.01
10.0	A	1.45±0.04*	0.94±0.01	3.66±0.09*	3.73±0.02*	2.99±0.15*
	B	1.13±0.01	0.99±0.00	1.63±0.05	1.48±0.02	0.88±0.09

注: A. 野生鲮(n=10); B. 养殖鲮(n=8). 表中*表示在相同测试条件下野生鲮和养殖鲮各部位的消化酶活力差异极显著($P<0.01$).
Note: A means wild grey mullet(n=10). B means cultivated grey mullet(n=10). *means extremely significant difference in enzyme activity of different digestive part between wild and cultivated *M.cephalus* under the same experiment condition($P<0.01$).

表5 pH对野生鲮和养殖鲮淀粉酶活力的影响
Tab. 5 Effects of pH on amylase activity of wild and cultivated grey mullet *Mugil cephalus*

$\bar{x} \pm \text{SD}; \text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$

pH	组织 tissue					
	肝胰脏 hepatopancreas	胃 stomach	前肠 foregut	中肠 midgut	后肠 hindgut	
2.2	A	5.08±0.42*	32.75±0.29	2.06±0.21	9.60±0.31	11.71±2.86*
	B	18.27±0.19	33.22±0.96	2.63±0.20	48.22±2.34*	3.24±0.61
3.2	A	5.90±0.33*	31.69±3.80	0.93±0.45	7.27±0.19	4.14±0.77
	B	21.95±2.76	32.16±2.69	3.70±0.21*	39.24±3.59*	3.28±0.22
4.2	A	22.22±0.55*	27.11±0.73*	1.07±0.31	12.50±0.39	16.14±1.25*
	B	45.37±1.04	20.88±4.25	6.71±0.18*	12.99±2.30	5.80±2.78
5.2	A	6.12±0.14*	25.49±0.36*	42.08±0.36*	12.17±0.42*	42.31±0.67*
	B	54.86±2.28	1.46±0.01	11.34±0.87	2.28±0.05	2.93±0.50
6.2	A	14.15±0.57*	16.59±0.26*	54.02±0.82*	42.32±0.19*	45.71±0.40*
	B	62.67±0.16	6.99±1.75	11.63±0.20	3.61±0.07	8.87±2.10
7.2	A	11.26±0.34*	45.79±0.32*	55.79±0.14*	49.07±0.58*	48.25±0.42*
	B	63.47±0.51	21.74±2.19	16.65±2.04	21.09±2.71	17.49±2.90
8.0	A	12.21±0.40*	43.77±0.62*	47.21±0.87*	47.27±0.16*	47.15±0.94*
	B	14.06±0.40	28.17±0.19	20.16±0.85	15.12±1.65	15.25±0.17
9.0	A	5.72±0.88*	29.31±0.54*	53.38±1.19*	44.41±0.29*	44.23±2.02*
	B	8.55±1.06	15.14±4.21	18.62±0.36	18.64±2.03	10.35±2.16
10.0	A	1.21±0.38*	19.48±1.26*	34.71±1.34*	39.76±0.57*	42.00±0.03*
	B	3.86±0.50	3.47±1.34	16.62±0.12	15.58±0.38	7.09±0.18

注: A. 野生鲮(n=10); B. 养殖鲮(n=8). 表中*表示在相同测试条件下野生鲮和养殖鲮各部位的消化酶活力差异极显著(P<0.01).
Note: A means wild grey mullet(n=10). B means cultivated grey mullet(n=10). *means extremely significant difference in enzyme activity of different digestive part between wild and cultivated *M.cephalus* under the same experiment condition(P<0.01).

2.595 接近, 要小于植食性鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)的 5.700^[21], 综上所述说明鲮是杂食性偏植食性鱼类。

3.2 鲮消化酶的分布特性

鱼体消化道中不同部位蛋白酶活力不同^[22]。因 3 龄鱼与 2 龄鱼的食性、消化酶种类相同^[13], 结果分析差异不显著, 故作为 1 个平行进行分析。黄耀桐^[9]、李广丽^[23]分别研究了草食性的草鱼和杂食性的鲤蛋白酶活力在肠道的分布, 发现后肠消化酶活力大于前肠。本研究中野生鲮蛋白酶活力由高到低依次为后肠、前肠、中肠、胃、肝胰脏, 与上述文献所得结果基本一致, 但养殖鲮蛋白酶活力由高到低依次为前肠、中肠、后肠、肝胰脏、胃, 与野生鲮不同, 究其原因可能是野生鲮所食的天然饵料较难消化, 食物在肠道内移动, 刺激肠道分泌蛋白酶, 食物要在肠道前部充分与消化酶混合, 经过一段时间后, 食物基本移至后肠, 从而使后肠酶活性显示较高值; 而养殖鲮摄

食的是经工厂熟化的配合饲料, 在经过胃部的研磨后较容易消化。综上所述, 可推测肠道是鲮蛋白质消化的主要部位。

几乎所有的鱼类消化器官中都有淀粉酶, 只不过消化酶活性大小和分布因鱼的种类和食性等不同而存在一定的差异。倪寿文等^[10]对鲤、草鱼、鲢、鳙的研究认为, 淀粉酶主要是由散布在肝脏内的胰组织分泌, 并且在进入肠道后进一步被激活; Dhage^[24]对印度主要鲤科鱼类的研究发现, 淀粉酶是由全肠分泌的, 且活力极高。本研究结果表明, 野生鲮淀粉酶活力由高到低依次为后肠、幽门盲囊、中肠、前肠、肝胰脏、胃, 养殖鲮的淀粉酶活力由高到低依次为幽门盲囊、前肠、中肠、后肠、胃、肝胰脏。鲮肝脏的淀粉酶活力低, 可能是由于肝脏主要分泌淀粉酶原, 需要在肠道中由肠激活酶进一步激活才有酶活力^[10]。鲮的砂囊胃主要适用于研磨和搅拌食物, 肠道为碳水化合物主要消化吸收场所。野生鲮的消化酶活力

均大于养殖鲢, 原因可能与天然饵料较难消化, 需要分泌更多的消化酶有关。2 种鲢淀粉酶活力差异极显著($P<0.01$), 蛋白酶活力在肝胰脏、胃差异不显著($P>0.05$), 在中肠、前肠和后肠差异极显著($P<0.01$)。这与顾岩等^[25]关于哲罗鱼(*Hucho taimen*)的研究结果正好相反, 原因可能与食性和生活环境相关: 1) 在天然海区中鲢以刮食沉积在泥表上的硅藻类和有机碎屑等为食; 而在人工饲养条件下, 鲢的食物中所含各组分较均衡; 2) 野生鲢生活环境的盐度高于养殖鲢, 有人认为鱼体肠道中的消化酶活力随着盐度的不同也会发生变化^[26]; 3) 鲢在长期摄食不同饵料驯化的过程中, 可能形成与其消化机能相适应的消化酶, 消化器官所分泌的酶量也会发生变化。

3.3 温度对鲢 2 种消化酶活力的影响

酶的蛋白质属性决定了温度是影响消化酶活力的重要因素。研究表明, 不同鱼类、不同的组织器官以及不同的酶类具有不同的最适温度, 因消化酶的最适温度是在消化器官离体的情况下, 并在实验规定的反应时间及条件下测定的, 因此该数据与鱼类生活环境温度不一致甚至有极大的差别^[27-30]。鲢的适宜水温为 3~35℃, 最适生长水温为 12~32℃^[3]。John^[31]认为, 鱼类消化酶的最适温度一般为 30~50℃。本研究结果显示, 野生鲢蛋白酶的最适温度在肝胰脏、胃、中肠和后肠中均为 45℃, 前肠和胃为 50℃; 养殖鲢的蛋白酶最适温度在肝胰脏、胃和前肠中为 40℃, 而在中肠和后肠中为 45℃; 野生鲢的肝胰脏、胃、前肠、中肠、后肠、幽门盲囊的淀粉酶最适温度分别是 40℃、45℃、45℃、45℃、40℃、45℃; 养殖鲢的肝胰脏、胃、前肠、中肠、后肠、幽门盲囊的淀粉酶最适温度分别是 40℃、40℃、40℃、45℃、40℃、40℃, 均高于实际鲢栖息的水环境温度, 这与其他鱼类消化酶的最适温度高于所处环境温度这一普遍现象是一致的。因此在离体条件下测得的酶活力不能完全反映鱼体正常生理条件下消化酶的最适反应温度。鱼类在自然状态下, 如果环境温度改变, 不仅影响消化酶活力, 而且还可能影响消化酶的分泌量, 从而对消化率产生影响。

3.4 pH 对鲢 2 种消化酶活力的影响

pH 对鱼类生理活动的影响是多方面的, 其一方面参与食物的消化; 另一方面为消化酶提供适宜的 pH 值。一般来说, 鱼类消化道内的 pH 值都能够极大满足不同种消化酶活力的需求^[32]。

有胃鱼类胃内 pH 值受胃酸分泌量的影响, 肠内 pH 值则是胃、肝脏和肠道分泌物的综合作用结果。pH 值过高或过低, 均能引起酶活力降低, 周景祥等^[33]研究指出, 有胃硬骨鱼类胃蛋白酶的最适 pH 值为酸性, 一般在 2~3 之间, 肝胰脏和肠道蛋白酶的最适 pH 值为弱酸与弱碱性, 在 6.5~9.5 之间; 而肝胰脏和胃淀粉酶的最适 pH 值为中性偏酸, 在 5.0~7.0 之间, 肠淀粉酶在 5.0~8.0 之间。本研究结果表明, 野生鲢和养殖鲢胃部蛋白酶的最适 pH 为 3.2 (实测鲢胃部 pH 值为 3.6±0.4), 其余各部分的最适 pH 均为 7.2。野生鲢的肝胰脏、胃部、前肠、中肠和后肠淀粉酶的最适 pH 分别为 6.2、7.2、7.2、7.2 和 7.2; 养殖鲢的肝胰脏、胃部、前肠、中肠和后肠淀粉酶的最适 pH 分别为 7.2、2.2、8.0、7.2 和 7.2。胃部淀粉酶最适 pH 在 2.2 出现 1 个高峰后, 在 7.2~8.0 之间又出现 1 个高峰, 这与生理条件下消化道中各种消化器官内实际 pH 内环境相一致, 鱼的胃内多为强酸性, 肠内多呈中或碱性^[13]。因此, 为了保证食物的充分消化吸收, 促进鱼体的生长发育, 建议在蛋白质含量丰富的饲料中添加一定的酸化剂, 有利于帮助饲料的消化, 同时也有利于减少水体污染。

参考文献:

- [1] 黄银燕, 康斌, 刘华忠. 鲢鱼肌肉蛋白质的营养价值[J]. 湛江海洋大学学报, 2003, 23(3): 68-70.
- [2] De Silva S S, Perera P A B. Studies on the chemical biology of young grey mullet, *Mugil cephalus* L. [J]. Fish Biol, 1978, 13(3): 297-304.
- [3] De Silva S S. Biology of juvenile grey mullet: a short review[J]. 1980, 19(1): 21-36.
- [4] 区又君, 李加儿. 人工培育条件下鲢鱼早期发育的生理生态研究[J]. 热带海洋, 1998, 17(4): 29-39.
- [5] 李加儿, 区又君, 丁彦文, 等. 广东池养鲢鱼的繁殖生物学[J]. 中国水产科学, 1998, 5(3): 39-42.
- [6] 区又君, 李加儿. 鲢鱼胚胎和卵黄囊期仔鱼的发育与营养研究[J]. 海洋学报, 1997, 19(3): 102-110.

- [7] 方永强, 翁幼竹. 养殖鲮鱼的性别比例及其性腺发育的研究[J]. 台湾海峡, 2002, 21(2): 53-57.
- [8] 吴婷婷. 鳊、青鱼、草鱼、鲤、鲫、鲢消化酶活性的研究[J]. 中国水产科学, 1994, 1(2): 10-16.
- [9] 黄耀桐. 草鱼肠道、肝胰脏蛋白酶活性初步研究[J]. 水生生物学报, 1988, 12(4): 328-333.
- [10] 倪寿文, 桂远明, 刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢、鳊和尼罗罗非鱼淀粉酶活性的比较研究[J]. 大连水产学院报, 1992, 7(1): 24-31.
- [11] 倪寿文, 桂远明, 刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢、鳊和尼罗罗非鱼肝胰脏和肠道蛋白酶活性的初步探讨[J]. 动物学报, 1993, 39(2): 160-168.
- [12] Vys W, Hecht T. Assays on the digestive enzymes of sharp tooth catfish, *Ciarias gariepinus*[J]. Aquaculture, 1987, 63(1-4): 301-313.
- [13] 尾崎久雄. 鱼类消化生理(上册)[M]. 吴尚忠译. 上海: 上海科技出版社, 1983: 296-328.
- [14] 李茜. 异育银鲫肠道组织形态学分析及肠道发育的营养调控[D]. 南京: 南京农业大学, 2006: 1-89.
- [15] 王福荣. 生物工程分析与检测[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 204-207.
- [16] 田宏杰, 庄平, 章龙珍, 等. 水温对施氏鲟幼鱼消化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(1): 126-131.
- [17] 钱云霞, 杨文鸽, 陆开宏. 大银鱼消化道指数和消化酶的初步研究[J]. 水利渔业, 2001, 21(5): 8-9.
- [18] 罗智, 李晓东, 白海涓, 等. 野生和养殖矛尾复虾虎鱼营养组成和形态学的比较[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(2): 182-186.
- [19] 叶元土, 林仕梅, 罗莉, 等. 黄颡鱼消化能力与营养价值的研究[J]. 大连水产学院学报, 1997, 12(2): 23-29.
- [20] 杨金海, 章龙珍, 庄平, 等. 人工养殖长鳍篮子鱼消化道指数及 3 种消化酶活性分布[J]. 海洋科学, 2009, 33(7): 43-50.
- [21] 曾端, 叶元土. 鱼类食性与消化系统结构的研究[J]. 西南农业大学学报, 1998, 20(4): 361-364.
- [22] Kawai S, Ikeda S. Effects of dietary changes on the activities of digestive enzymes in carp intestine[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1992, 38(3): 265-269.
- [23] 李广丽. 草鱼、鲤肠道、肝胰脏消化酶活性的初步研究[J]. 湛江水产学院学报, 1994, 14(1): 34-40.
- [24] Dhage K P. Studies of the digestive enzymes in the three species of major carps of India[J]. Biol Sci, 1968, 11: 63-74.
- [25] 顾岩, 孙中武, 尹洪斌, 等. 野生与养殖哲罗鱼消化系统及消化酶的比较研究[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 330-336.
- [26] Fang L S, Chiou S F. Effect of salinity on the activities of digestive proteases from the tilapia fish *Oreochromis niloticus* in different culture environments[J]. Comp Biochem Physiol, 1989, 93A(2): 439-443.
- [27] 叶元土. 温度、pH 值对南方大口鲶、长吻鲶蛋白酶和淀粉酶活力的影响[J]. 大连水产学院学报, 1998, 13(2): 17-23.
- [28] 桂远明, 吴垠, 刘焕亮, 等. 温度对草鱼鲤、鲢、鳊主要消化酶活性的影响[J]. 大连水产学院学报, 1992, 7(4): 1-8.
- [29] 梅景良. pH 值对黑鲟胃肠道及肝胰脏主要消化酶活力的影响[J]. 云南农业大学学报, 2004, 19(5): 592-595.
- [30] 喻召德. 黄颡鱼消化酶的初步研究[J]. 武汉: 华中农业大学, 2004, 24(5): 92-94.
- [31] John E H. Fish nutrition [M]. California: Academic Press Inc, 1987: 332-423.
- [32] 李明德. 鱼类生理学[M]. 天津: 天津科技出版社, 1990.
- [33] 周景祥, 陈勇, 黄权, 等. 鱼类消化酶的活性及环境条件的影响[J]. 北华大学学报, 2001, 2(1): 70-73.

Digestive enzymes activity of wild and cultivated grey mullet *Mugil cephalus*

YU Na^{1,2}, LI Jiaer¹, OU Youjun¹, FAN Chunyan^{1,2}

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China

Abstract: Digestive tract indices and digestive enzyme distribution in digestive organs of wild and cultivated grey mullet *Mugil cephalus* were studied, and effects of different temperature and pH on digestive enzyme activities were investigated in both populations. The results showed that in wild and cultivated grey mullets, the ratio of intestine gut length to body length were 2.886 ± 0.301 and 3.315 ± 0.141 while the ratios of viscera, liver and stomach weight to body weight were 0.043 ± 0.001 and 0.048 ± 0.004 , 0.009 ± 0.001 and 0.007 ± 0.000 , 0.008 ± 0.002 and 0.007 ± 0.000 , respectively. The activities of protease in different organs were sequenced as follow: hindgut>foregut>midgut>stomach>hepatopancreas in wild grey mullets and foregut>midgut>hindgut>hepatopancreas>stomach in cultured ones, while the activities of amylase were in the order of hindgut>pyloric caecum>midgut>foregut>hepatopancreas>stomach in wild grey mullets and pyloric caecum>foregut>midgut>hindgut>stomach>hepatopancreas in cultured ones. The differences of amylase activity in every part between the populations were extremely significant ($P < 0.01$). No significant differences of protease activity in hepatopancreas and stomach existed between the two populations ($P > 0.05$), but in midgut the difference was significant ($P < 0.05$), and in foregut and hindgut, the difference were extremely significant ($P < 0.01$). For the amylase in wild grey mullet, the optimum temperatures were 40 °C, 45 °C, 45 °C, 45 °C, 40 °C, 45 °C in hepatopancreas, stomach, foregut, midgut, hindgut and pyloric caecum, respectively and the optimum pH in hepatopancreas was 6.2 and in other tissues was 7.2. For amylase in cultured grey mullet, the optimum temperatures were 40 °C, 40 °C, 40 °C, 45 °C, 40 °C, 40 °C in hepatopancreas, stomach, foregut, midgut, hindgut and pyloric caecum, respectively and the optimum pH in stomach and foregut were 2.2 and 8.0, and in other tissues was 7.2. For protease in wild grey mullet, the optimum temperature in hepatopancreas, stomach, foregut and hindgut was 45 °C, while in midgut was 50 °C and the optimum pH of protease in stomach was 3.2, and in other tissues was 7.2. For protease in cultured grey mullets, the optimum temperature in hepatopancreas, stomach and midgut was 40 °C, while in foregut and hindgut was 45 °C and the optimum pH of protease in stomach was 3.2, and in other tissues was 7.2. This study shows that in aquaculture we should consider not only the assimilation of protein, but also that of saccharide. Adjustment of the amount and proportion of amylase and protein according to environmental conditions could promote production and save cost. [Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(1): 127–135]

Key words: *Mugil cephalus*; digestive tract index; digestive enzyme distribution; enzyme activity; temperature; pH

Corresponding author: LI Jiaer. E-mail: lje001@126.com